

10/085/204



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月27日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-090711

[ST.10/C]:

[JP2001-090711]

出 願 人

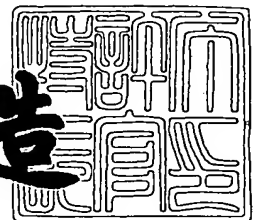
Applicant(s):

株式会社リコー

2002年 5月14日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3035050

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100962

【提出日】 平成13年 3月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 半導体分布ブラッグ反射器、面発光レーザ素子、および面発光レーザアレイ

【請求項の数】 9

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

 【氏名】 軸谷 直人

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

 【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

 【氏名】 高橋 孝志

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

 【氏名】 伊藤 彰浩

【特許出願人】

 【識別番号】 000006747

 【氏名又は名称】 株式会社リコー

【代理人】

 【識別番号】 100077274

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 磯村 雅俊

 【電話番号】 03-3348-5035

【選任した代理人】

【識別番号】 100102587

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 昌幸

【電話番号】 03-3348-5035

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013402

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9808799

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体分布ブラッグ反射器、面発光レーザ素子、および面発光レーザアレイ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体分布ブラッグ反射器を構成する主体層であるバンドギャップエネルギーの異なる 2 種の半導体層と、該 2 種の半導体層の間に、これらの中間の価電子帯エネルギーを持つヘテロスパイク緩衝層とによって構成された半導体分布ブラッグ反射器であって、

前記ヘテロスパイク緩衝層が、価電子帯エネルギーを連続的に変化させた組成傾斜層、または階段状に変化させた複数の層から構成された階段状組成傾斜層、またはこれらの組み合わせによって構成され、当該半導体分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層に接する側に価電子帯エネルギーの変化率の大きな領域（以下、領域 I という）を、当該半導体分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの大きな層に接する側に価電子帯エネルギーの変化率の小さな領域（以下、領域 II という）を備えていることを特徴とする半導体分布ブラッグ反射器。

【請求項 2】 請求項 1 記載の半導体分布ブラッグ反射器において、前記ヘテロスパイク緩衝層の領域 I の厚さが、領域 II の厚さに比べて相対的に薄いことを特徴とする半導体分布ブラッグ反射器。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 記載の半導体分布ブラッグ反射器において、当該半導体分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層の価電子帯エネルギーと、これに接する側のヘテロスパイク緩衝層の価電子帯エネルギーがステップ状とみなせる程度に急峻に変化しているか、もしくは不連続に変化していることを特徴とする半導体分布ブラッグ反射器。

【請求項 4】 請求項 1 乃至 3 記載の半導体分布ブラッグ反射器において、当該半導体分布ブラッグ反射器の材料が、AlGaAs 系半導体材料であることを特徴とする半導体分布ブラッグ反射器。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 3 記載の半導体分布ブラッグ反射器において、当該半導体分布ブラッグ反射器の材料が、AlGaInP 系半導体材料であることを特

徴とする半導体分布ブラッグ反射器。

【請求項 6】 請求項 4 記載の半導体分布ブラッグ反射器において、当該半導体分布ブラッグ反射器を構成する主体層およびヘテロスパイク緩衝層のキャリア密度が $5 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ から $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ の範囲であり、該ヘテロスパイク緩衝層の厚さが 5 [nm] から 40 [nm] の範囲であり、前記領域 II の平均の Al 組成の変化率が $0.02 [\text{nm}^{-1}]$ から $0.15 [\text{nm}^{-1}]$ の範囲であることを特徴とする半導体分布ブラッグ反射器。

【請求項 7】 請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の半導体分布ブラッグ反射器を共振器ミラーとした面発光レーザ素子。

【請求項 8】 請求項 7 記載の面発光レーザ素子において、前記活性層の材料が GaInAs, GaNAs, GaAsSb, GaInNAs, GaInAsSb, GaInNAsSb のいずれかであることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 9】 請求項 7 または 8 記載の面発光レーザ素子によって構成された面発光レーザアレイ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体分布ブラッグ反射器 (DBR: Distributed Bragg Reflector) を共振ミラーとした面発光半導体レーザ技術に係り、特に、電気抵抗を効果的に低減した半導体分布ブラッグ反射器、該半導体分布ブラッグ反射器を用いた特性の優れた面発光半導体レーザ素子、および該面発光半導体レーザ素子を用いた面発光半導体レーザアレイに関する。

【0002】

【従来の技術】

基板に対して垂直方向に発光、発振するいわゆる面発光レーザ素子 (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser; 垂直空洞面発光型半導体レーザ素子) は効率がよく、ビーム特性、縦モード特性に優れている。さらに、2次元アレイ化に適していることから、光インターコネクションなどへの応用が研究されている。

【 0 0 0 3 】

面発光レーザ素子は、端面発光型レーザと比べて共振器長が短いことから、共振ミラーに高い反射率が必要とされ、100%近い反射率が得られる分布ブラッグ反射器が共振ミラーとして用いられている。分布ブラッグ反射器は、屈折率の異なる2種の半導体層（または誘電体層）をそれぞれ発振波長の $1/4$ の光学距離に交互に積層して作られている。しかし半導体材料による分布ブラッグ反射器では、一般にp型分布ブラッグ反射器の電気抵抗が高いという問題がある。これは正孔の有効質量が重く、半導体ヘテロ界面にできるスパイク状のポテンシャルバリアの影響を大きく受けるためである。

【 0 0 0 4 】

従来、このスパイク状ポテンシャルバリアを低減する方法として、分布ブラッグ反射器を構成している層の界面に、これらの中間の価電子帯エネルギーを持つ層、また、価電子帯エネルギーを除々に変化させた層（組成傾斜層）等のヘテロスパイク緩衝層を設けた構造が公知である（例えば、Photonics Technology Letters Vol.3, No.7, 1991 p.p.591-593 参照）。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、分布ブラッグ反射器の界面にこのようなヘテロスパイク緩衝層を設けることによって、電気抵抗が低減するという事実は知られているものの、この効果を十分に得るための指針については詳しく検討されていない。従来は単純に中間のバンドギャップを持つ層（組成の異なる複数の層を設ける場合もある）を設けるか、組成を変化させる場合も、単に半導体混晶の組成を線形に変化させる程度のものであった。

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、ヘテロスパイク緩衝層の構造を最適化することによって電気抵抗をより効果的に低減した半導体分布ブラッグ反射器（請求項1～6）、該半導体分布ブラッグ反射器を共振器ミラーに用いることで、動作電圧の低減、素子発熱の低減、高出力化、高速変調等特性の優れた面発光レーザ素子（請求項7、8）、該面発光レーザ素子を用いた低消費電力で高速変調が可能な面発光半導体

レーザアレイ（請求項 9）を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために次のような構成を採用した。すなわち、
（1）請求項 1 記載の発明は、半導体分布ブラッグ反射器を構成する主体層であるバンドギャップエネルギーの異なる 2 種の半導体層と、前記 2 種の層の間に、これらの中間の価電子帯エネルギーを持つヘテロスパイク緩衝層とによって構成された半導体分布ブラッグ反射器において、ヘテロスパイク緩衝層を、価電子帯エネルギーを連続的に変化させた組成傾斜層、または階段状に変化させた複数の層から構成された階段状組成傾斜層、またはこれらの組み合わせによって構成し、分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層に接する側に価電子帯エネルギーの変化率大きな領域（領域 I）を、分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの大きな層に接する側に価電子帯エネルギーの変化率の小さな領域（領域 II）を備えた構成としたことを特徴としている。

【0008】

このような構成とすることで、ヘテロスパイク緩衝層の価電子帯エネルギーを、分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうち、バンドギャップエネルギーの小さな層の価電子帯エネルギーからもう一方のバンドギャップエネルギーが大きな層の価電子帯エネルギーに線形に変化させた場合に比べて、分布ブラッグ反射器の電気抵抗を低減させることができる。

【0009】

（2）請求項 2 記載の発明は、請求項 1 において、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 の領域 I の厚さを領域 II の厚さに比べ相対的に薄い構成としたことを特徴としている。

Al 組成が大きく変化する領域 I の厚さを領域 II に比べ薄くすると、領域 I 内で組成が大きく変化的ることから、急な価電子帯のエネルギー変化によって分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層とヘテロスパイク緩衝層との界面でノッチが発生し易くなる。また領域 I の幅を薄くす

ることで、価電子帯エネルギー変化が顕著な領域を、分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層とこれに接するヘテロスパイク緩衝層とのノッチ部分とすることができる。これによって、スパイクが発生する領域IIでのAl組成傾斜率、およびAl組成変化量が小さく抑えられ、スパイク高さが低くなる。このように、領域Iの厚さを薄くすることにより、さらに電気抵抗を低減することができる。

【 0 0 1 0 】

(3) 請求項3記載の発明は、請求項1または2において、分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層の価電子帯エネルギーとこれに接する側のヘテロスパイク緩衝層の価電子帯エネルギーがステップ状とみなせる程度に急峻に変化しているか、もしくは不連続に変化している構成としたことを特徴としている。

【 0 0 1 1 】

請求項2の説明から分かるように、最も抵抗値が減少するのは、領域Iを設けない場合か、あるいは領域Iの厚さが十分に薄く、分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内、バンドギャップエネルギーが小さな層（例ではGaAs層13）とヘテロスパイク緩衝層の領域IIの価電子帯エネルギーが不連続あるいは不連続と見なせる程度に急激に変化している場合である。

【 0 0 1 2 】

従って、請求項3のように、ヘテロスパイク緩衝層と分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内のバンドギャップエネルギーの小さな層との価電子帯エネルギーを、不連続あるいは不連続と見なせる程度に急激に変化させた構造とすることによって、最も高率良く抵抗値が低減する。

【 0 0 1 3 】

(4) 請求項4記載の発明は、さらに、分布ブラッグ反射器をAlGaAs系材料で構成したことを特徴としている。

AlGaAsを材料とすることで、特性（反射率、AlAsの選択酸化プロセスとの整合性）に優れた、抵抗の低い分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 1 4 】

(5) 請求項5記載の発明は、さらに、分布ブラッグ反射器をAlGaInP系材料で構成したことを特徴としている。

AlGaInP系材料は、バンドギャップエネルギーが、AlGaAs系材料に比べて大きく（分布ブラッグ反射器の光吸収端エネルギーが大きい）、例えば、650nm帯等の可視領域における、抵抗の低い反射鏡として用いることができる。

【0015】

(6) 請求項6記載の発明は、請求項4において、分布ブラッグ反射器を構成する主体層、およびヘテロスパイク緩衝層12のキャリア密度が $5 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ から $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ の範囲であり、ヘテロスパイク緩衝層12の厚さが、5[nm]から40[nm]の範囲であり、領域IIの平均のAl組成の変化率が $0.02 [\text{nm}^{-1}]$ から $0.15 [\text{nm}^{-1}]$ の範囲である構成としたことを特徴としている。ここで、領域IのAl組成傾斜率を、『Al組成傾斜率=(領域I内におけるAl組成(0~1)の変化量)/(dI)』と定義する。分布ブラッグ反射器を含むヘテロスパイク緩衝層12の各パラメーターを上述の範囲に選ぶことにより、容易に、且つ効果的に低抵抗値を低減することができる。

【0016】

(7) 請求項7記載の発明は、請求項1乃至6の半導体分布ブラッグ反射器を面発光レーザ素子の共振器ミラーとして用いる構成としたことを特徴としている。

【0017】

請求項1乃至6の半導体分布ブラッグ反射器は、ヘテロスパイク緩衝層のバンドプロファイルを、単純な線形とせず、請求項1乃至4に記載されているように選んだことで、p側半導体ブラッグ反射器の電気抵抗値が従来より低減されている。これによって、素子の動作電圧が低くなり、消費電力は低減する。また、素子の発熱量も低減するので、高出力まで発振が得られる。また、素子抵抗が低減するので、高速変調も可能となる。

【0018】

(8) 請求項8記載の発明は、請求項1乃至6において、GaInAs, GaNAs, GaAsSb, GaInNAs, GaInAsSb, GaInNAsSb のいずれかの材料によって活性層を構成したことを特徴としている。

【0019】

これらの材料を用いると、GaAs基板上に $1.1\mu\text{m}$ よりも長波の発光を得ることができる。特に、 $1.3\mu\text{m}$ 帯は石英シングルモードファイバを用いた高速光通信、光伝送において重要な波長帯である。

【0020】

さらに、 $1.3\mu\text{m}$ の発振が得られる活性層23とAl(Ga)As/GaAsによる高品質な（反射特性、選択酸化プロセスとの整合性）分布ブラッグ反射器25をGaAs基板20上で組み合わせて用いることで、特性の良好な光通信および光伝送の用途の面発光レーザ素子を得ることができる。

【0021】

さらに、この中でもGaInNAs混晶は、(Al)GaAs等の共振器スペーサー層に対し、GaAsSb材料等と比べて伝導帯バンド不連続量が大きく、電子のオーバーフローが効果的に抑制できることから、特性温度が高く、高温まで安定に発振を得ることができる。

【0022】

請求項1乃至4の作用効果によって、p側分布ブラッグ反射器25の電気抵抗が低減されていることから、動作電圧、消費電力が小さく、また高速変調が可能である。特に、石英シングルモードファイバを用いた、高速光通信、光伝送用途に好適な面発光レーザ素子を得ることができる。

【0023】

(9) 請求項9記載の発明は、請求項7および8の面発光レーザ素子を用いて面発光レーザアレイを構成したことを特徴としている。

本発明の分布ブラッグ反射器を用いた面発光レーザ素子は、素子抵抗が低減されていることから、動作電圧が低く、消費電力が小さい。特に、（大規模）アレイ集積した場合に、低消費電力化の効果が大きい。また、素子抵抗が低減されていることから、高速変調が可能である。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例を、図面を用いて詳細に説明する。

(1) 第1の実施例<請求項1, 4>

例えば、請求項4の実施例としてAlGaAs系材料について、例を示すと図1(a)のようになる。

【0025】

図1(a)は、GaAs基板10上に例えばMOCVD法によって結晶成長を行った本発明に係るヘテロスパイク緩衝層12を有する分布ブラッグ反射器を示した図である。分布ブラッグ反射器を構成する主体層は、AlAs層11とGaAs層13であり、これらの層間にAlGaAs材料からなるヘテロスパイク緩衝層12が設けられている。分布ブラッグ反射器は図1(a)に示す基本構造を周期的に26層積層して構成されている。

【0026】

MOCVD法による結晶成長では、材料の組成を原料ガス流量によって容易に制御することができる。従って、MBE法等に比べ、容易に所望のプロファイルを有するヘテロスパイク緩衝層を作製することができる。

【0027】

また、図1(b)は、図1(a)の分布ブラッグ反射器のGaAs層13、AlGaAsヘテロスパイク緩衝層12、およびAlAs層11のバンドエネルギーを示したものである。

【0028】

ここで、GaAs層13とAlAs層11の間には、請求項1の実施例として、価電子帯エネルギーの変化率の異なる2つの領域から構成されたAlGaAsによるヘテロスパイク緩衝層12が設けられている。図2は、比較のために、従来の単純に価電子帯エネルギーを線形に変化させたヘテロスパイク緩衝層の場合のバンドエネルギーを示した図である。

【0029】

図1(b)が図2の従来のものと異なっている点は、ヘテロスパイク緩衝層12を単一の価電子帯エネルギーの変化率を持った層で構成するのではなく、価電子帯エネルギー変化率の異なる2つの層によって構成し、さらにGaAs層13に接する側の価電子帯エネルギー変化率を、AlAs層11に接する側の価電子帯エネルギー

ギー変化率に比べ大きくしている点である。同図において、 dI と dII は夫々領域IとIIの厚さを示している。

【 0 0 3 0 】

AlGaAs系半導体材料では、Al組成の増加と共に、バンドギャップエネルギーが大きくなり、屈折率が低下する。従って、Al組成の異なるAlGaAs層を対にすることにより、分布ブラッグ反射器を構成することができる。この際、伝導帯では、Al組成0.43までエネルギーが増加し、その後減少を始めるが、価電子帯では単調にAl組成の増加量に比例して価電子帯エネルギーが低下する（トータルとしてのバンドギャップエネルギーは組成に対して増加している）。従って、AlGaAs材料系では、価電子帯エネルギーの変化率が、Al組成の変化率に対応する。請求項1の実施例として、AlGaAs系材料についてAl組成傾斜率を用いて説明するものとする。

【 0 0 3 1 】

図3は、AlAs/GaAs界面に厚さ20nmの図1(a), (b)の構造を有するヘテロスパイク緩衝層12を設けた設計反射波長1.3 μ mの4ペアp-分布ブラッグ反射器について、領域IのAl組成傾斜率、および、領域Iの厚さ(dI)を変えての電気抵抗を見積もった結果である。横軸に領域IのAl組成傾斜率を、縦軸にゼロバイアス付近での微分シート抵抗値を示している。ここで、領域IのAl組成傾斜率を、『Al組成傾斜率=(領域I内におけるAl組成(0~1)の変化量)/(dI)』と定義する。さらに領域IIのAl組成傾斜率も同様なものとして定義する。

【 0 0 3 2 】

領域Iの厚さ(dI)を変えた場合の微分シート抵抗は、図3中において異なる点で夫々プロットしている。ヘテロスパイク緩衝層を含む分布ブラッグ反射器の各層のキャリア密度を $1 \times 10^{18} [cm^{-3}]$ としている。

【 0 0 3 3 】

領域Iと領域IIの厚さの和は常に20nmであり、領域IIの厚さ(dII)、および組成傾斜率は、領域Iの厚さ(dI)と組成傾斜率から一意的に決まる。単純にGaAs層13とAlAs層11の間に線形組成傾斜層12を設けた場合のAl組成傾斜率は0.05[nm $^{-1}$]であり、これは、図3のA点に当たる。

【 0 0 3 4 】

例えば、領域Iの厚さ(dI)が10nmの場合（領域Iと領域IIの厚さが等しい場合）の結果を見ると、領域IのAl組成傾斜度を大きくするに従って、従来のように単に組成傾斜率を線形とした場合（図中のA点）と比べて抵抗値が減少し、さらに領域IのAl組成傾斜率 $0.065[\text{nm}^{-1}]$ で極小値をとる。極小値での電気抵抗は、従来のようにAl組成を線形に変化させた場合の約80%に低減する。また、この傾向、および極小点は印加電圧に依らない。

【 0 0 3 5 】

次に、この理由について説明する。

図4は、AlAs/GaAsによる分布ブラッグ反射器ヘテロ界面の熱平衡状態の価電子帯エネルギーを示したものである。図4に示したように、バンド不連続に起因するヘテロスパイクは主に禁則帯幅の広いAlAs層側で顕著に現れており、GaAs層側では殆どノッチは発生していない。また、GaAs層側に発生するノッチは、本来高抵抗化の原因とはならないので、このAlAs層側に発生する大きなスパイクを、限られたヘテロスパイク緩衝層12の厚さで効率良く平坦にすることが、低抵抗化において重要である。

【 0 0 3 6 】

請求項1の構造では、ノッチが発生するGaAs層側で急激に組成を増加させ、スパイクが発生するAlAs層側の組成傾斜を緩やかに変化させたことに対応している。このようにすると、ヘテロスパイク緩衝層12を設けた場合の価電子帯エネルギーを示す図5のように、単純にAl組成を線形に変化させた場合（実線）に比べて、本実施例のようにGaAs層13のAl組成傾斜率を大きくした場合（破線）の方がスパイクの高さを低減できる（従って、逆に領域IのAl組成傾斜率を領域IIより小さくすると、抵抗値が増加する）。以上から、領域Iの組成傾斜率を大きくすることで、従来よりも電気抵抗を低減することができる。

【 0 0 3 7 】

図1(a)では、Al組成を線形に変化させた、Al組成傾斜率が異なる2つの領域から構成したヘテロスパイク緩衝層12を例に示しているが、図6のように非線形であっても良い。このような場合の領域I、IIの境界としては、図6に示す

ように、領域IとGaAs層13の境界での価電子帯エネルギーの変化率を傾きとした接線（図の一点鎖線）と、領域IIとAlAs層11の境界の価電子帯エネルギー変化率を傾きとした接線の交点等とすることが出来る。また、組成は連続的に変化している必要は無く、例えば組成の少しずつ異なる層を複数積層して所望するプロファイルを近似的に得るようにしたものであっても良い。この他にも、ヘテロスパイク緩衝層12は、図7のように3つ以上の層から構成されたものであっても良い。

【0038】

また、本実施例では、結晶成長方法をMOCVD法としたが、MBE法等の他の結晶成長法を用いても、作製することができる。

【0039】

さらに、第1の実施例では、AlGaAs系材料について例を示したが、この他にもAlGaInP系材料等についても、同様の効果を得ることができる。AlGaInP系材料は4元材料であり、AlInP組成の増加に伴って、AlGaAs系におけるAl組成の増加と同様の傾向を示す。伝導帯エネルギーは、AlInP組成0.7まで増加した後減少を始め、価電子帯エネルギーはAlInP組成の増加に対し同様に単調に減少する。従って、AlGaInP材料系においては、AlInP組成の傾斜率を上記と同様に設計することによって、同様の効果を得ることができる。

【0040】

・第1の実施例（請求項1，4）の作用・効果

バンド不連続に起因するヘテロスパイクは主に禁則帯幅の広いAlAs層側で顕著に現れており、GaAs層側では殆どノッチは発生していない。また、GaAs層側に発生するノッチは、本来高抵抗化の原因とはならないので、このAlAs層側に発生する大きなスパイクを、限られたヘテロスパイク緩衝層12の厚さで効率良く平坦にすることが、低抵抗化において重要である。

【0041】

請求項1の構造では、ノッチが発生するGaAs層側で急激に組成を増加させ、スパイクが発生するAlAs層側の組成傾斜を緩やかに変化させることによってAl組成を単純に線形に変化させた場合に比べてスパイク高さを低減することができる。

以上から、従来の線形組成傾斜層をヘテロスパイク緩衝層 1 2 に用いた場合に比べて p-分布ブラッグ反射器の電気抵抗を低減することができる。

【 0 0 4 2 】

また、請求項 4 の構造では、分布ブラッグ反射器の材料を AlGaAs とすることにより、特性（反射率、AlAs の選択酸化プロセスとの整合性）の優れた、抵抗値の低い分布ブラッグ反射器を得ることができる。前記の分布ブラッグ反射器は主に $0.85 \mu\text{m}$ より長波の面発光レーザー素子に用いられ、優れた特性をもっている。以上のように、面発光レーザー素子の共振器ミラーとして好適な分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 4 3 】

（ 2 ） 第 2 の実施例＜請求項 2＞

第 2 の実施例として、領域 I の厚さを薄くした場合について示す。図 3 に領域 I の厚さを、5, 2, 1 nm と順次薄くした場合について示している。図 3 に示すように、領域 I の厚さを薄くし、さらに領域 I の組成傾斜率を大きくするに従い、電気抵抗値が低減する。このように、領域 I の厚さを薄くすることによって、さらに抵抗値が低減された分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 4 4 】

・ 第 2 の実施例（請求項 2）の作用・効果

Al 組成が大きく変化する領域 I の厚さを領域 II に比べ薄くすると、領域 I 内で組成が大きく変化することから、急な価電子帯のエネルギー変化によるノッチが発生し易くなる。また領域 I の幅を薄くすることで、この価電子帯エネルギー変化が顕著な領域を GaAs 側のノッチ部分とすることができる。これに伴って、スパイクが発生する領域 II での Al 組成傾斜率、および Al 組成変化量が小さく抑えられ、スパイクの高さが低くなる。以上から、領域 I の厚さを薄くすることによって、さらに分布ブラッグ反射器の電気抵抗を低減することができる。

【 0 0 4 5 】

（ 3 ） 第 3 の実施例＜請求項 3＞

再度、図 3 を参照すると、微分抵抗値の極小値は、領域 I の厚さを薄くなるに従って減少しており、最も抵抗値が減少するのは、図 8 のように領域 I を設けな

い場合か、あるいは図9のように領域Iの厚さが十分に薄く、分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内、バンドギャップエネルギーが小さな層（例ではGaAs層13）とヘテロスパイク緩衝層12の領域IIの価電子帯エネルギーが不連続あるいは不連続と見なせる程度に急激に変化している場合である。

【0046】

従って、請求項3のように、ヘテロスパイク緩衝層12と、分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内のバンドギャップエネルギーの小さな層（例ではGaAs層13）との価電子帯エネルギーを不連続あるいは不連続と見なせる程度に急激に変化させた構造とすることによって、従来の線形にAl組成を変化させたヘテロスパイク緩衝層12に比べ、低抵抗化することができる。

【0047】

また、この際、ヘテロスパイク緩衝層12との価電子帯バンド不連続量、ヘテロスパイク緩衝層12のAl組成変化率は、任意の値が許されるのではなく、抵抗の最小値を与える最適な組み合わせが存在する。

【0048】

図10は、図3と同様に、今度は領域IIの組成傾斜度（ヘテロスパイク緩衝層の厚さ、領域Iの厚さ、Al組成傾斜率から、領域IIの厚さ、Al組成傾斜率が一意的に決まっている）に対して示したものである。領域I、IIの厚さに依らず、同じ領域IIのAl組成傾斜率の場合に、極小値をとっていることが分かる。図11は、領域Iと領域IIの厚さの和を40nmとした構造に対して、同様に示したものであるが、この場合にも領域IIの同じAl組成傾斜率において、抵抗の極小値が得られる。

【0049】

従って、逆にこの領域IIのAl組成傾斜率と、厚さから、分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内バンドギャップエネルギーの小さな層（例ではGaAs層13）と、ヘテロスパイク緩衝層12との、最適な価電子帯エネルギーの不連続量を得ることができる。

【0050】

以上から、図8、9のように、分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内、バ

バンドギャップエネルギーが小さい層（例ではGaAs層13）と、領域Iの価電子帯エネルギーが不連続か、不連続とみなせる程度に急峻に変化するようにし、さらに、領域IIのAl組成傾斜率を最適に選ぶことで、抵抗値を最も低減することができる。

【0051】

例えば、図では、領域Iの厚さを1nmとすることで、ヘテロスパイク緩衝層12として同じ厚さの20nmの線形組成傾斜層を設けた場合に比べ、抵抗値を75%にまで低減することができる。

【0052】

また、この場合もヘテロスパイク緩衝層12のAl組成は図8、9のように線形に変化している必要は無く、図12のように非線形であっても良い。同様に、GaAs層13とヘテロスパイク緩衝層12の価電子帯エネルギーが、不連続か、または、不連続と見なせる程度に急峻に変化するようにし、領域IIの平均のAl組成変化率を最適に選ぶことで、抵抗値を低くすることができる。

【0053】

・第3の実施例の作用・効果

請求項2の説明、および図3から分かるように、最も抵抗値が減少するのは、領域Iを設けない場合か、あるいは領域Iの厚さが十分に薄く、分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内、バンドギャップエネルギーが小さな層（例ではGaAs層13）とヘテロスパイク緩衝層12の領域IIの価電子帯エネルギーが不連続か、不連続と見なせる程度に急峻に変化している場合である。

【0054】

従って、請求項3のように、ヘテロスパイク緩衝層12と分布ブラッグ反射器を構成する主体層の内バンドギャップエネルギーの小さな層（例ではGaAs層13）との価電子帯エネルギーを不連続あるいは不連続と見なせる程度に急峻に変化させた構造とし、さらに領域IIのAl組成傾斜率を最適な値に設定することによって、最も高率良く抵抗値を低減させることができる。

【0055】

（4）第4の実施例＜請求項5＞

前記第 1 の実施例では、分布ブラッグ反射器の材料を AlGaAs 系材料にした例を示しているが、AlGaInP 系半導体材料等にした場合も同様の効果を得ることができる。

【 0 0 5 6 】

AlGaInP 系材料は 4 元材料であり、AlInP 組成の増加に伴って、AlGaAs 系における Al 組成の増加と同様の傾向を示す。伝導帯エネルギーは、AlInP 組成 0.7 まで増加した後減少を始め、価電子帯エネルギーは AlInP 組成の増加に対し同様に単調に減少する。従って、AlGaInP 材料系においては、AlInP 組成の傾斜率を上記と同様に設計することによって、同様の効果を得ることができる。

【 0 0 5 7 】

・ 第 4 の実施例（請求項 5）の作用・効果

AlGaInP 系材料は、バンドギャップエネルギーが AlGaAs 系材料に比べて大きく（分布ブラッグ反射器の光吸収端エネルギーが大きい）、例えば、650 nm 帯等の可視領域における抵抗の低い反射鏡として用いることができる。AlGaInP 系材料では、GaInP を活性層として用いることによって 650 nm 帯の発光を得ることができる。

【 0 0 5 8 】

しかし、この材料系では伝導帯バンド不連続量が大きくないので、素子温度の上昇により、活性層からの電子のオーバーフローが顕著に生じ、温度変化による閾値電流等の特性変動が大きいという問題がある。また、同様の理由から素子の最高発振出力が制限されている。例えば、請求項 5 の分布ブラッグ反射器を用いた面発光レーザ素子では、低抵抗化によって、素子発熱が低減できるので、従来素子に比べて特性変動を小さく抑えることができる。以上により、可視領域で発振する面発光レーザ素子の共振器ミラーとして、好適な分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

（5）第 5 の実施例＜請求項 6＞

請求項 6 では、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 のプロファイルを限定している。

請求項 3 のように、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 の厚さの違いによって、電気抵

抗が極小となる最適な組成傾斜率がある。図 1 3 は、分布ブラッグ反射器のキャリア密度と、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 の厚さを変えて、ゼロバイアス付近の微分シート抵抗値を見積もったものである。分布ブラッグ反射器は、反射波長 $1.3 \mu\text{m}$ の AlAs/GaAs 4 ペア p-分布ブラッグ反射器としている。分布ブラッグ反射器とヘテロスパイク緩衝層 1 2 は全て同じキャリア密度にドーピングしている。

【 0 0 6 0 】

図 1 3 は、分布ブラッグ反射器とヘテロスパイク緩衝層 1 2 のキャリア密度 ($5 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ 、 $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$) と、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 の厚さを変えて、図 6 の構造において電気抵抗値が最も低くなる Al 組成傾斜率、およびその時のシート微分抵抗、さらに、ヘテロスパイク緩衝層を単純な線形組成傾斜 (図 2 の構造) とした場合に比べ電気抵抗が何 % に低減しているかを示したものである。

【 0 0 6 1 】

キャリア密度が低いと電気抵抗値が高くなるので、実際的に許容できる下限として $5 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ を選んでいる。また、逆に高すぎる場合には、特に p 型半導体で、光吸収が顕著となるので、これが許容できる上限値として $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ を選んだ。

【 0 0 6 2 】

ヘテロスパイク緩衝層 1 2 の厚さを厚くした場合には、低抵抗化の効果が大きく得られるが、分布ブラッグ反射器の反射率を低下させてしまうので反射特性上好ましくない。反射率を考慮すると、 $40 [\text{nm}]$ 以下が実用的なヘテロスパイク緩衝層の厚さとして重要である。

【 0 0 6 3 】

また、薄すぎる場合には、低抵抗化の効果が得られないので、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 による効果が十分に得られる厚さとして $5 [\text{nm}]$ 以上が重要である。

【 0 0 6 4 】

従来の、Al 組成を分布ブラッグ反射器を構成する主体層のうちバンドギャップエネルギーの小さな層の組成から、バンドギャップの大きな層の組成へ、単純に線形に変化させた組成傾斜層に比べて、抵抗値の低減が可能であることが分かる

。この値の範囲で、請求項 3 の実施例では、微分シート抵抗値が 7 5 % 程度（微分シート抵抗値 $1.2 \times 10^{-9} [\Omega \text{ m}^2]$ ）に低減しており、大きな効果が得られている。

【 0 0 6 5 】

このように、同じ厚さのヘテロスパイク緩衝層 1 2 を設ける場合には、線形組成傾斜率の場合に比べ、低抵抗化が可能であり、また、同じ抵抗値を得る場合には必要なヘテロスパイク緩衝層 1 2 の厚さが薄くて済む。従って、反射率などの光学特性に与える影響を低減することができる。

以上により、請求項の範囲に分布ブラッグ反射器、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 の構造を選ぶことで、電氣的、光学的性質に優れた分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 6 6 】

また、実際には各層のキャリア密度が請求項に示す範囲で互いに異なっても良い。また、異なる厚さ、組成傾斜率を有したヘテロスパイク緩衝層 1 2 が分布ブラッグ反射器中に同時に用いられていても良い。また、図 1 2 に示すように、Al 組成変化率が非線形であっても良い。

【 0 0 6 7 】

実際の作製に当たっては Al 組成変化率を精密に線形に制御することは容易ではなく、注意を払い作製を行った場合でも、Al 組成傾斜率が図 1 2 のように多少非線形となる場合がある。また、以上の理由から設計段階において、ある程度の非線形を認めた上で、作製を行う場合もある。このような場合であっても、領域 II における平均の Al 組成変化率傾斜率が上述の範囲であれば、請求項 6 の効果を得ることができる。

【 0 0 6 8 】

・ 第 5 の実施例（請求項 6）の作用・効果

請求項 6 では、ヘテロスパイク緩衝層 1 2 のプロファイル（Al 組成変化率、厚さ）を限定している。

請求項 3 のようにヘテロスパイク緩衝層 1 2 の構成には、低抵抗値を与える最適な組み合わせがあり、最も効率良く抵抗値を低減するには、各構造において、

領域IIのAl組成傾斜度等を最適値に設定する必要がある。

【0069】

請求項6に示した範囲は発明者が検討を行った中で、効果的に抵抗値の低減が得られる範囲を示したものであり、この範囲外では本発明の効果を得ることが難しいか、また効果が不十分なものとなる。

従って、分布ブラッグ反射器の構造を請求項6の範囲に設定することによって、従来のAl組成を線形に変化させたヘテロスパイク緩衝層12よりも、容易に且つ効果的に抵抗値を低減することが可能となる。

【0070】

(6) 第6の実施例<請求項7>

請求項7の実施例として、図14の面発光レーザ素子を用いて説明する。図はGaAsを活性層とした $0.85\mu\text{m}$ 帯面発光レーザ素子である。次に、図の面発光レーザ素子の作製手順について説明する。

【0071】

図14の面発光レーザ素子は、先ず、面方位(100)のn-GaAs基板20上に、発振波長 λ の $1/4$ 光学的厚さのSeドープAlAsと、Seドープ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ を40周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡21を形成した。ここで、光学的厚さを次のように定義する。対象としている波長 λ に対する媒質の屈折率を n とすると、媒質中における光の波長は λ/n で与えられる。この厚さを一波長光学的厚さと定義する。従って、媒質の厚さを d とした場合、この媒質の光学的厚さは、 $d/(\lambda/n)$ となる。

次にアンドープ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層からなる共振器スペーサー層22、24と、これに挟まれたGaAs(8nm)/ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ (2nm)3重量量子井戸活性層23を積層した。

共振器構造は、共振器スペーサー層および量子井戸活性層からなる共振領域の光学距離の和が一波長に等しい共振器構造とした。

【0072】

そしてその上に、Cドープのp-AlAsとZnドープp- $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ と、これらの間に例えば、実施例3のヘテロスパイク緩衝層12を設けた構造

を夫々、交互に26周期積層した。また、最上部は、 $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層とし、分布ブラッグ反射器25を構成する高屈折率層と、電極とコンタクト層の両方の役割を持たせている。

【0073】

ここで、 p -分布ブラッグ反射器を構成する主体層の厚さは、ヘテロスパイク緩衝層12の厚さを考慮して、分布ブラッグ反射器の反射波長が発振波長 $\lambda = 0.85\ \mu\text{m}$ の $1/4$ 光学的厚さとなるように調整した。

【0074】

また、この面発光型半導体レーザ全体の成長方法はMOCVD法で行った。原料には、TMA（トリメチルアルミニウム）、TMG（トリメチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 AsH_3 （アルシン）、 PH_3 （フォスフィン）を用いた。また、キャリアガスには H_2 を用いた。ここで使用したMOCVD法は、原料ガスの供給量を制御することによって、混晶組成を容易に制御することができる。この他にも、結晶成長方法として、MBE法等が挙げられるが、MBE法等を用いた場合には、混晶組成を変化させるには、ルツボの温度制御を行うか、シャッターを頻繁に開閉する必要があり、組成の制御制や、スループット、装置信頼性等に問題があり、MOVCD法の方が量産性に優れている。

【0075】

上部分布ブラッグ反射器25を結晶成長した後、電流通路以外の部分にプロトン（ H^+ ）照射によって絶縁層（高抵抗部）とし、電流狭窄部を形成した。（素子の構造、および分布ブラッグ反射器、活性層材料等はこれに限るものではない。電流狭窄に関しては、後述する実施例7のように $\text{Al}(\text{Ga})\text{As}$ 層の選択酸化を用いた電流狭窄構造を用いても良い。材料に関しては、活性層材料に InGaAs 等を用いても良い。また、 AlGaInP を分布ブラッグ反射器材料とし、 GaInP を活性層とした場合には、 $650\ \text{nm}$ 帯の可視面発光レーザ素子を得ることができる。）

【0076】

次に、上部反射鏡の最上部の層であり上部反射鏡一部となっている p -コンタクト層上に光出射部を除いて p 側電極26を形成し、基板の裏面に n 側電極27を形成した。本素子では、ヘテロスパイク緩衝層12により素子抵抗が低減し、

従来の単純な線形組成傾斜層を設けた素子に比べ、発振閾値電圧が低減していた。また、素子抵抗が低減したことによって、従来に比べ高速変調が可能となった。また、抵抗が低減したことにより、素子発熱が抑えられ、最高発振温度も向上した。

【 0 0 7 7 】

・第 6 の実施例（請求項 7）の作用・効果

請求項 7 では、請求項 1 乃至 6 の分布ブラッグ反射器を、面発光レーザ素子の共振器ミラーに用いた。これによって、従来の単純な線形組成傾斜層をヘテロスパイク緩衝層に用いた面発光レーザ素子よりも p-分布ブラッグ反射器の電気抵抗が低減しており、発振閾値電圧が低減されている。

【 0 0 7 8 】

また、素子抵抗が低減したことによって、従来に比べ高速変調が可能となった。また、抵抗が低減したことにより、素子発熱が抑えられ、最高発振温度も従来に比べ向上した。さらに、動作電圧が低減したことで、素子の信頼性が向上した。以上の点において、従来よりも特性の優れた面発光レーザ素子を得ることができた。

【 0 0 7 9 】

（ 7 ） 第 7 の実施例＜請求項 8＞

請求項 8 の実施例として、図 1 5 の面発光レーザ素子を用いて説明する。図は GaInNAs を活性層とした $1.3 \mu\text{m}$ 帯面発光レーザ素子である。次に、図の面発光レーザ素子の作製手順について説明する。

【 0 0 8 0 】

図 1 5 の面発光レーザ素子は、先ず面方位（100）の n-GaAs 基板 3 0 上に発振波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ の $1/4$ 光学的厚さの Se ドープ AlAs と Se ドープ GaAs とを交互に 36 周期積層した n-半導体分布ブラッグ反射鏡 3 1 を形成し、その上にアンドープ GaAs 層からなる共振器スペーサー層 3 2、3 4 と、これに挟まれた GaInNAs（7 nm）/GaAs（15 nm）3 重量子井戸活性層 3 3 を積層した。共振器構造は、共振器スペーサー層および量子井戸活性層からなる共振領域の光学距離の和が一波長に等しい共振器構造とした。

【0081】

そしてその上に、Cドープの $p\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ とZnドープ $p\text{-GaAs}$ と、これらの間に例えば、実施例3のヘテロスパイク緩衝層12を設けた構造を26周期積層した。また、最上部は、 $p\text{-GaAs}$ 層とし、分布ブラッグ反射器を構成する高屈折率層と、電極とコンタクト層の両方の役割を持たせている。

【0082】

ここで、 p -分布ブラッグ反射器を構成する主体層の厚さは、ヘテロスパイク緩衝層12の厚さを考慮して、分布ブラッグ反射器の反射波長が発振波長 $\lambda = 1.3\ \mu\text{m}$ の $1/4$ 光学的厚さとなるように調整した。上部の p -分布ブラッグ反射器36の共振器スペーサー層34に接する最初の一対の間には、ヘテロスパイク緩衝層ではなく、電流狭窄用の AlAs 選択酸化絶縁層35を設けた。この際、 AlGaAs 層、および、 GaAs 層の厚さは、 AlAs 層の光学的厚さ分を調整し、分布ブラッグ反射器の反射波長に影響を与えないように調整している。これら以外の層間には、全てヘテロスパイク緩衝層12が設けられている。ここで量子井戸活性層33の In 組成は37%、 N （窒素）組成は0.5%とした。

【0083】

またこの面発光型半導体レーザの成長方法はMOCVD法で行った。半導体レーザの各層を構成する原料には、 TMA （トリメチルアルミニウム）、 TMG （トリメチルガリウム）、 TMI （トリメチルインジウム）、 AsH_3 （アルシン）、 PH_3 （フォスフィン）、そして窒素の原料には DMHy （ジメチルヒドラン）を用いた。 DMHy は低温で分解するので 600°C 以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスには H_2 を用いた。

【0084】

またこの例では、 GaInNAs 層（量子井戸活性層）33は 540°C で成長した。 MOCVD 法は過飽和度が高く N と他の V 族を同時に含んだ材料の結晶成長に適している。

【0085】

また、 MOCVD 法は原料ガスの供給量を制御することによって、混晶組成を

容易に制御することができる。この他にも、結晶成長方法として、MBE法等が挙げられるが、MBE法等を用いた場合には、混晶組成を変化させるには、ルツボの温度制御を行うか、MOVCDは、シャッターを頻繁に開閉する必要がある、組成の制御制や、スループット、装置信頼性等に問題があり、MOVCD法の方が量産性に優れている。

【 0 0 8 6 】

次に、結晶成長の後、所定の大きさのメサ部分を、n-分布ブラッグ反射器31に達するまで、p-AlAs被選択酸化絶縁層35の側面を露出させて形成し、側面の現れたAlAs層を水蒸気で側面から酸化してAlOx電流狭窄層を形成している。

【 0 0 8 7 】

最後にポリイミド（絶縁膜）38でエッチングで除去した部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡36上のポリイミドを除去し、p-GaAsコンタクト層37上に光出射部を除いてp側電極39を形成し、GaAs基板30の裏面にn側電極40を形成した。

【 0 0 8 8 】

本面発光レーザ素子は、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯で発振し、発振閾値電圧は従来の単純な線形組成傾斜層をヘテロスパイク緩衝層とした面発光レーザ素子に比べて低減されていた。

また、素子発熱が抑えられた結果、最高発振出力の増大が見られた。また、動作電圧の低減によって、素子の故障は少なく、信頼性は高いものであった。また、素子抵抗が減少したことによって、従来の素子に比べ高速変調が可能であった。

【 0 0 8 9 】

また、本実施例の素子はGaAs基板上に作製を行ったことによって、AlGaAs系材料による特性の優れた（反射率、放熱性）分布ブラッグ反射器を素子の共振器ミラーとして用いることができた。また、AlAs混晶は酸化が容易であり、酸化によって形成されるAlOxは高い絶縁性を有している。従って、本素子のように、AlGaAs系材料による分布ブラッグ反射器、およびAlAsの酸化物からなる電流狭窄構造

を用いた素子は、低発振閾値電流を得ることができる。また、電流狭窄構造によって作り出される横方向の屈折率差によって、容易に基本単一横モード発振が得られる。また、発振波長が $1.3\ \mu\text{m}$ 帯であることから、石英シングルモードファイバと組み合わせることによって、高速光通信、および光伝送が可能である。以上により、高速光通信、光伝送に好適な面発光レーザ素子を得ることができる。

【0090】

また、本実施例ではGaAs基板上の長波長レーザの例として、活性層材料にGaInNAs混晶を用いたが、この他にも、GaInAs、GaAsSb等の3元混晶が挙げられる。さらに、これらの混晶である、GaInAsSb、GaInNAsSb等も用いることができる。また、障壁層もGaAs以外の材料を用いることができる。また、素子の構造は前述のプロトン注入狭窄型や、この他のものであっても良い。結晶成長方法もMOCVD法に限るものではなく、MBE法等を用いて作製されたものであっても良い。

【0091】

さらに活性層の積層構造として3重量子井戸構造の例を示したが、井戸数はこれに限るものでない、単一量子井戸構造、二重量子井戸構造、その他の井戸数を用いても良い。また、発振波長も $1.3\ \mu\text{m}$ 帯に限られるものではなく、この他のものであっても良い。例えば、GaInNAsでは、組成を変えることで、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯、さらにはもっと長波長の面発光型半導体レーザを得ることもできる。

【0092】

・第7の実施例（請求項8）の作用・効果

請求項8の面発光レーザ素子は、GaInAs、GaInAsSb、GaInNAs、GaInNAsSb混晶を活性層材料としたことで、GaAs基板上において $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の発振が得られ、さらに、発振閾値電圧は従来の単純な線形組成傾斜層をヘテロスパイク緩衝層とした場合に比べて低減されている。

【0093】

また、素子発熱が抑えられた結果、最高発振出力の増大が見られた。また、動

作電圧の低減によって、素子の故障は少なく、信頼性は高いものであった。また、素子抵抗が減少したことによって、従来の素子に比べ高速変調が可能であった。また、特に、GaInNAsを活性層に用いた場合には、電子の活性層への閉じ込めが高いことから、高温まで、特性の変動が少なく、安定に発振が得られた。

【 0 0 9 4 】

また、本実施例の素子はGaAs基板上に作製を行ったことによって、AlGaAs系材料による特性の優れた（反射率、放熱性）分布ブラッグ反射器を素子の共振器ミラーとして用いることができた。また、AlAs混晶は酸化が容易であり、酸化によって形成されるAlO_xは高い絶縁性を有している、従って、本素子のように、AlGaAs系材料による分布ブラッグ反射器、およびAlAsの酸化物からなる電流狭窄構造を用いた素子は、低発振閾値電流を得ることができる。

【 0 0 9 5 】

また、電流狭窄構造によって作り出される横方向の屈折率差によって、容易に基本単一横モード発振が得られる。また、発振波長が1.3 μm帯であることから、石英シングルモードファイバと組み合わせることによって、高速光通信、および光伝送が可能である。以上から、高速光通信、光伝送に好適な面発光レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 9 6 】

（ 8 ） 第 8 の 実 施 例 < 請 求 項 9 >

図 1 6 は、請求項 7 および 8 のいずれかの面発光レーザ素子を、2次元に4×4個集積したモノリシックレーザアレイの上面図を示したものである。個々の素子部を独立に駆動するためにp電極 5 1 に個別配線 5 2 を設けている。図の面発光レーザアレイは、実施例 7 もしくは実施例 8 と同様の手順・方法で作製されている

【 0 0 9 7 】

・ 第 8 の 実 施 例 （ 請 求 項 9 ） の 作 用 ・ 効 果

本実施例の面発光レーザアレイは、アレイを構成する個々の素子のp-分布ブラッグ反射器の電気抵抗が低減されていることから、消費電力が小さく、特に、（大規模）アレイ集積した場合に、この低消費電力化の効果を顕著に得ることが

できる。また、素子抵抗が低減されていることから、高速変調が可能であり、並列光伝送では、スキューが低減し、高速伝送が可能である。また、駆動電圧が低減されていることから、アレイ素子の信頼性も高い。以上により、特に並列光伝送用途に好適な面発光レーザアレイを得ることができる。

【0098】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明によれば、ヘテロスパイク緩衝層の構造を最適化することによって電気抵抗をより効果的に低減した半導体分布ブラッグ反射器（請求項1～6）を、さらに該半導体分布ブラッグ反射器をミラーに用いることで、動作電圧の低減、素子発熱の低減、高出力化、高速変調等特性の優れた面発光レーザ素子（請求項7、8）、該面発光レーザ素子を用いた低消費電力で高速変調が可能な面発光半導体レーザアレイ（請求項9）を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係るヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ反射器およびバンドエネルギーを示す図である。

【図2】

従来の単純に価電子帯エネルギーを線形に変化させたヘテロスパイク緩衝層の場合のバンドエネルギーを示す図である。

【図3】

AlAs/GaAs界面に厚さ20nmの図1の構造を有するヘテロスパイク緩衝層を設けた設計反射波長1.3 μ mの4ペアp-分布ブラッグ反射器について、領域IのAl組成傾斜率、および、領域Iの厚さ(dI)を変えての電気抵抗を見積もった図である。

【図4】

AlAs/GaAsによる分布ブラッグ反射器ヘテロ界面の熱平衡状態の価電子帯エネルギーを示す図である。

【図5】

AlAs/GaAsによる分布ブラッグ反射器ヘテロ界面の熱平衡状態の価電子帯エネ

ルギーを示す図である（ヘテロスパイク緩衝層を設けた場合）。

【図 6】

ヘテロスパイク緩衝層を設けた場合の価電子帯エネルギーを示す図である（非線形の場合）。

【図 7】

ヘテロスパイク緩衝層を 3 つ以上の層から構成されたものであっても良い。

【図 8】

ヘテロスパイク緩衝層を設けた場合の価電子帯エネルギーを示す図である（領域 I を設けない場合）。

【図 9】

ヘテロスパイク緩衝層を設けた場合の価電子帯エネルギーを示す図である（領域 I の厚さが十分に薄い場合）。

【図 1 0】

AlAs/GaAs 界面に厚さ 2 0 n m の図 1 の構造を有するヘテロスパイク緩衝層を設けた設計反射波長 1 . 3 μ m の 4 ペア p-分布ブラッグ反射器について、領域 II の Al 組成傾斜率、および、領域 I の厚さ (dI) を変えての電気抵抗を見積もった図である。

【図 1 1】

AlAs/GaAs 界面に厚さ 2 0 n m の図 1 の構造を有するヘテロスパイク緩衝層を設けた設計反射波長 1 . 3 μ m の 4 ペア p-分布ブラッグ反射器について、領域 II の Al 組成傾斜率、および、領域 I の厚さ (dI) を変えての電気抵抗を見積もった図である（領域 I と領域 II の厚さの和を 4 0 n m とした場合）。

【図 1 2】

ヘテロスパイク緩衝層を設けた場合の価電子帯エネルギーを示す図である（領域 I を設けない場合で非線形の場合）。

【図 1 3】

分布ブラッグ反射器のキャリア密度とヘテロスパイク緩衝層 1 2 の厚さを変えて、ゼロバイアス付近の微分シート抵抗値を見積もった図である。

【図 1 4】

GaAsを活性層とした $0.85\text{ }\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子を示す図である。

【図 1 5】

GaInNAsを活性層とした $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子を示す図である。

【図 1 6】

本発明に係る面発光レーザ素子を2次元に 4×4 個集積した面発光レーザアレイの上面図である。

【符号の説明】

- 1 0 : GaAs基板、
- 1 1 : AlAs層、
- 1 2 : AlGaAsヘテロスパイク緩衝層、
- 1 3 : GaAs層、
- 2 0 : n-GaAs基板、
- 2 1 : n-半導体分布ブラッグ反射鏡 (AlGaAs/AlAs下部半導体半導体分布ブラッグ反射鏡：下部DBR)、
- 2 2 : 下部共振器スペーサー層、
- 2 3 : GaAs量子井戸活性層、
- 2 4 : 上部共振器スペーサー層、
- 2 5 : p-半導体分布ブラッグ反射鏡 (AlGaAs/AlAs上部半導体半導体分布ブラッグ反射鏡：上部DBR)、
- 2 6 : p側電極、
- 2 7 : n側電極、
- 3 0 : n-GaAs基板、
- 3 1 : n-半導体分布ブラッグ反射鏡 (AlAs/GaAs下部半導体半導体分布ブラッグ反射鏡：下部DBR)、
- 3 2 : 下部共振器スペーサー層、
- 3 3 : GaInNAs/GaAs量子井戸活性層、
- 3 4 : 上部共振器スペーサー層、
- 3 5 : 電流狭窄用のAlAs選択酸化絶縁層、
- 3 6 : p-半導体分布ブラッグ反射鏡 (AlAs/GaAs上部半導体半導体分布ブ

ラッグ反射鏡：上部DBR）、

37：p-GaAsコンタクト層、

38：ポリイミド（絶縁膜）

39：p側電極、

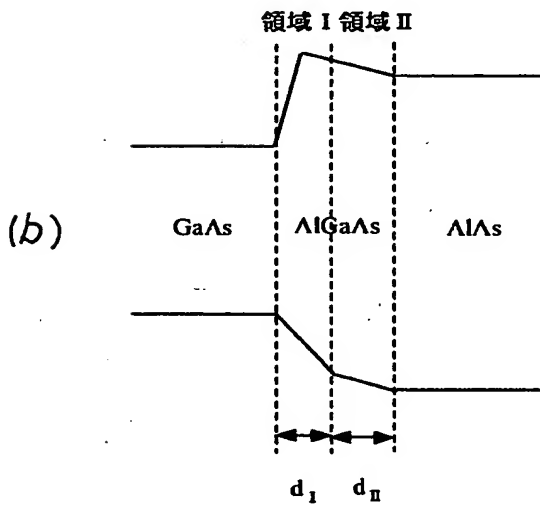
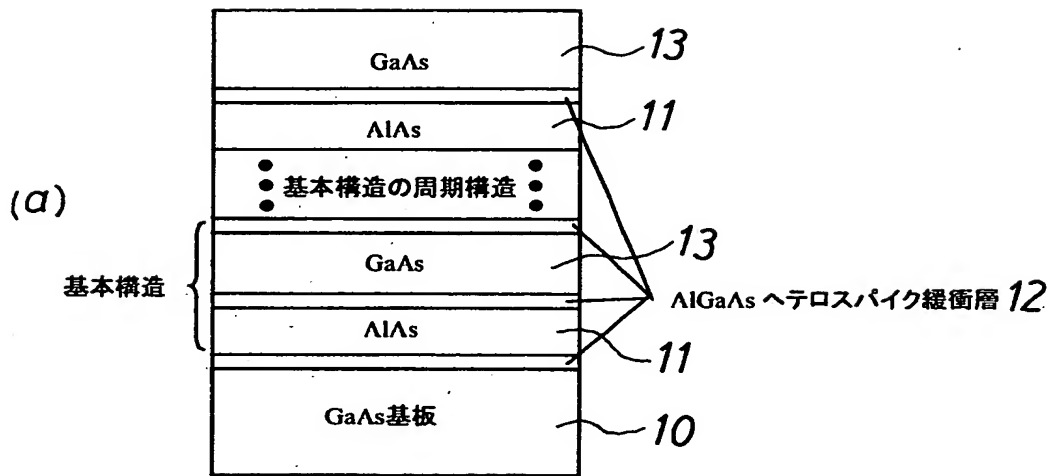
40：n側電極、

51：p電極、

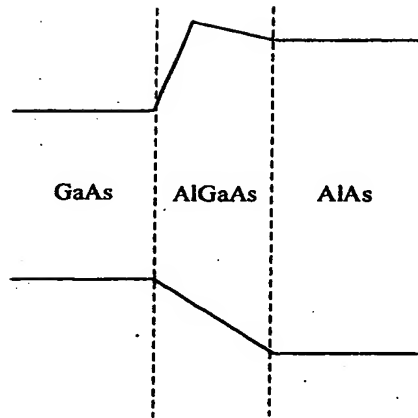
52：配線。

【書類名】 図面

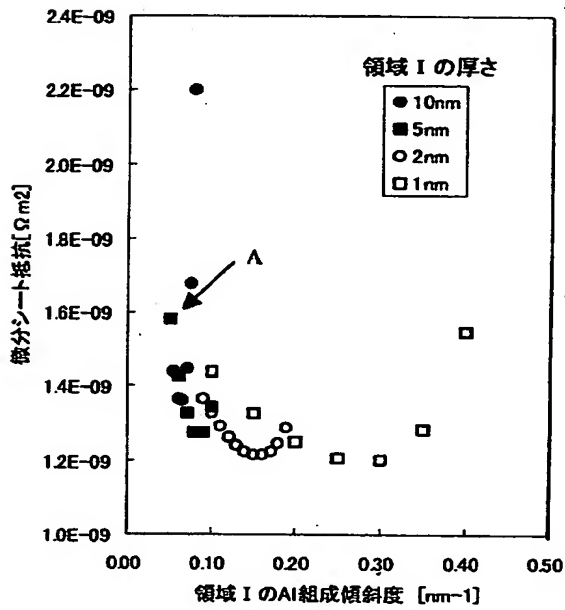
【図 1】



【図 2】



【図 3】



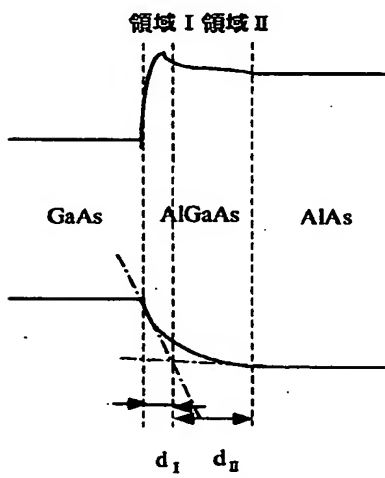
【図 4】



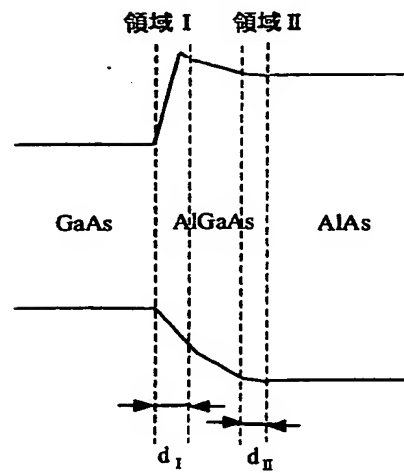
【図 5】



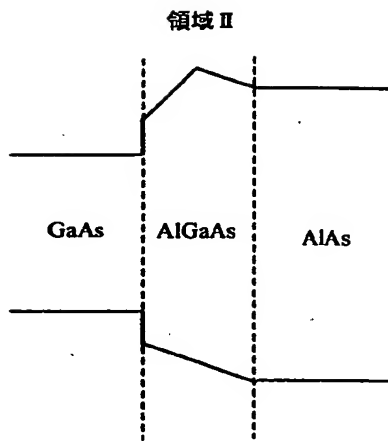
【図 6】



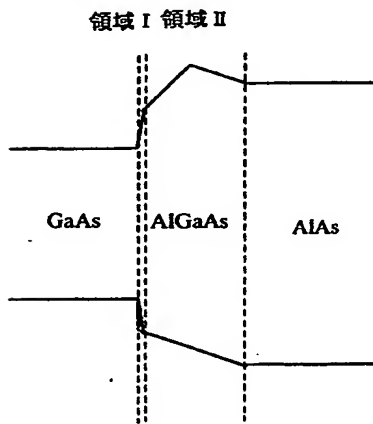
【図 7】



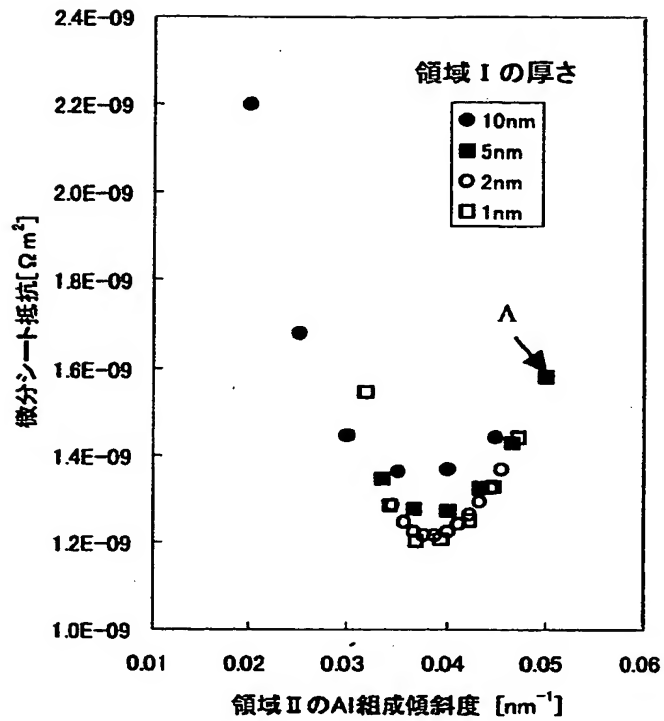
【図 8】



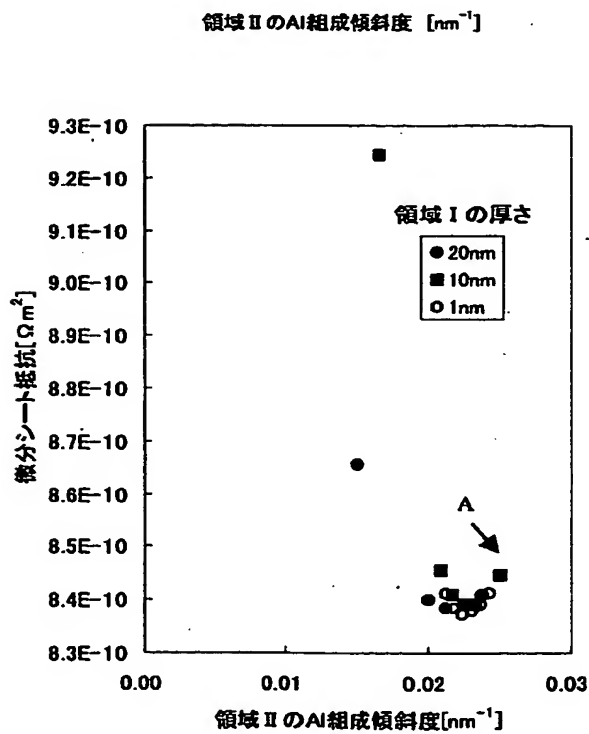
【図 9】



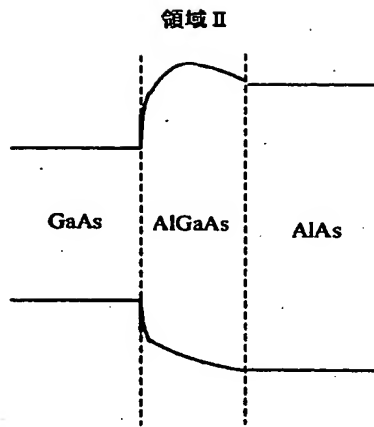
【図 1 0】



【図 1 1】



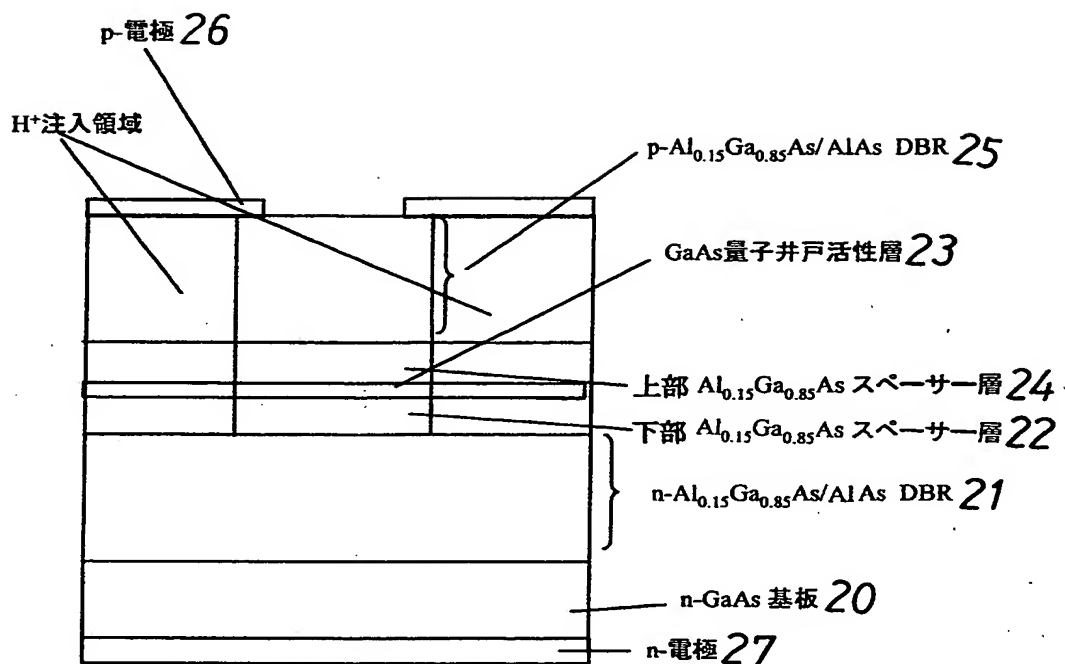
【図 12】



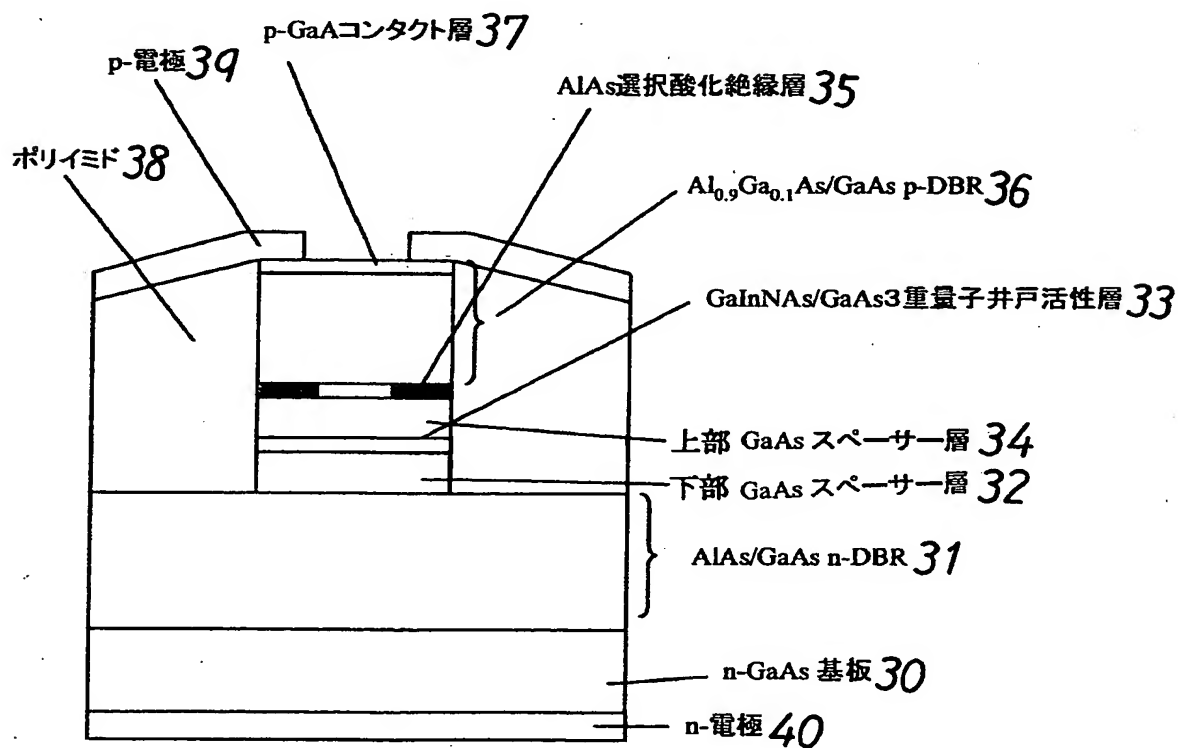
【図 1 3】

| ヘテロスパイク緩衝層厚さ | $5 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ (キャリア密度) | $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ (キャリア密度) |
|--------------|---|--|
| 5[nm] | $0.16 [\text{nm}^{-1}] / 8.4 \times 10^{-8} [\Omega \text{m}^2] / 83\%$ | $0.16 / 4.5 \times 10^{-8} [\Omega \text{m}^2] / 90\%$ |
| 40[nm] | $0.02 [\text{nm}^{-1}] / 2.1 \times 10^{-9} [\Omega \text{m}^2] / 91\%$ | ... |

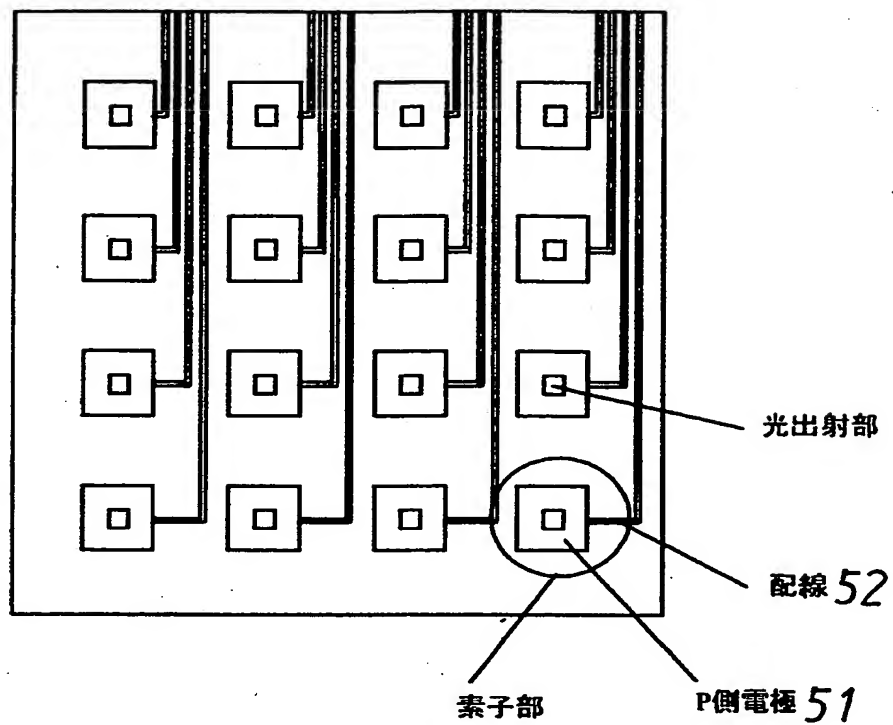
【図14】



【図15】



【図 1 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電気抵抗を低減した半導体分布ブラッグ反射器、該半導体分布ブラッグ反射器を共振器ミラーに用いることで、動作電圧の低減、素子発熱の低減、高出力化、高速変調等特性の優れた面発光レーザ素子、該面発光レーザ素子を用いた低消費電力で高速変調が可能な面発光半導体レーザアレイを提供すること

【解決手段】 半導体分布ブラッグ反射器を構成するバンドギャップエネルギーの異なる半導体層 1 1, 1 3 の間に中間の価電子帯エネルギーを持つヘテロスパイク緩衝層 1 2 を設けた。ヘテロスパイク緩衝層 1 2 は価電子帯エネルギーを連続的または階段状の組成傾斜層またはこれらの組み合わせによって構成され、バンドギャップエネルギーの小さな層（半導体層 1 1）に接する側に価電子帯エネルギーの変化率の大きな領域を、バンドギャップエネルギーの大きな層（半導体層 1 3）に接する側に価電子帯エネルギーの変化率の小さな領域を備えている。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

氏 名 株式会社リコー